

УДК 621.389

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОЙСКОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ

д.т.н., проф. В.Н. Чинков, А.Е. Мельниченко

Показана целесообразность применения для отдельных ВСИТ второй стратегии эксплуатации ВСИТ – без их периодической поверки в течение всего срока службы ВСИТ и предложен экономический критерий для оптимального выбора стратегии эксплуатации.

Постановка проблемы. Эксплуатация средств измерительной техники (СИТ) связана с необходимостью их периодической поверки (калибровки) через установленные межповерочные интервалы (МПИ). С учетом принятой периодичности поверки $T_{\text{мпи}}$ и затрат на ее проведение $C_{\text{п}}$, которые для различных типов СИТ составляют в среднем (10 – 20)% стоимости прибора, а также затрат на их ремонт $C_{\text{р}}$, суммарные за срок службы СИТ расходы C_{Σ} становятся сравнимыми со стоимостью новых СИТ, а в ряде случаев и значительно превосходят ее [1]. Поэтому актуальной является задача минимизации суммарных затрат C_{Σ} при обеспечении заданного (требуемого) уровня метрологической надежности $P_{\text{мз}}$ СИТ.

Анализ литературы. В нормативных и руководящих документах, а также многочисленной научно-технической литературе предполагается обязательное проведение поверок СИТ в процессе их эксплуатации [2 – 4]. При этом большинство научных публикаций, предлагающие различные методы корректировки МПИ СИТ основываются в первую очередь на оптимизации различного рода технических показателей [5, 6]. Те же публикации, которые так или иначе учитывают экономический фактор, посвящены эксплуатации СИТ промышленных предприятий [7, 8]. Такие СИТ, как правило, представляют собой большие группы, что дает возможность формировать необходимую статистику данных для экономической оптимизации данного производства. Что же касается эксплуатации войсковых СИТ (ВСИТ), то практически отсутствуют результаты каких-либо исследований, позволяющих оценить и на основании экономического критерия соответствующим образом оптимизировать эксплуатацию отдельных групп ВСИТ в зависимости от условий (особенностей) их эксплуатации.

Цель статьи состоит в исследовании возможности эксплуатации ВСИТ без проведения периодических проверок по экономическим критериям, а также доказательства практической целесообразности использования двух стратегий эксплуатации ВСИТ в течение их срока службы $T_{\text{сл}}$: с периодической проверкой, как принято в настоящее время ($T_{\text{мпи}} < T_{\text{сл}}$), и без периодической проверки в течение всего срока службы ВСИТ ($T_{\text{мпи}} = T_{\text{сл}}$).

Постановка задачи сводится к обоснованию экономического критерия, обеспечивающего оптимальный выбор одной из указанных выше стратегий эксплуатации ВСИТ по минимуму затрат при условии сохранения заданного (требуемого) уровня метрологической надежности.

Основная часть. Получим выражение для целевой функции (суммарных затрат) C_{Σ} для более общей стратегией эксплуатации ВСИТ – с периодической проверкой. В качестве такой целевой функции C_{Σ} рассмотрим приходящиеся на одно ВСИТ суммарные за срок службы $T_{\text{сл}}$ затраты на приобретение $C_{\text{сит}}$, проверку $C_{\text{п}}$, ремонт $C_{\text{р}}$, и затраты $C_{\text{оф}}$ на создание в местах эксплуатации обменного фонда для замены проверяемых или ремонтируемых ВСИТ, т.е.

$$C_{\Sigma} = C_{\text{сит}} + C_{\text{п}} + C_{\text{р}} + C_{\text{оф}}. \quad (1)$$

Получим выражения для каждой из составляющих стоимости.

Стоимость ВСИТ, в зависимости от заданной наработки на отказ T_0 , представим соотношением

$$C_{\text{сит}} = \alpha C_a + (1 - \alpha) C_a (T_0 / T_{0a})^n, \quad (2)$$

где C_a – стоимость ВСИТ-аналога; T_{0a} – его средняя наработка на отказ ВСИТ-аналога; α и n – постоянные величины для соответствующих групп приборов ($0 < \alpha < 1$; $n > 0$).

Остальные стоимости в (1) запишем в виде

$$C_{\text{п}} = c_{\text{п1}} (T_{\text{сл}} / T_{\text{мпи}}); \quad C_{\text{р}} = c_{\text{р1}} (T_{\text{сл}} / T_0); \quad C_{\text{оф}} = N_{\text{оф}} C_{\text{сит}}, \quad (3)$$

где $c_{\text{п1}}$, $c_{\text{р1}}$ – удельная стоимость одной проверки и одного ремонта ВСИТ соответственно, включая зарплату поверителей, накладные расходы, социальные отчисления, расходы на содержание ремонтно-поверочного оборудования и т.д.; $N_{\text{оф}}$ – количество ВСИТ обменного фонда в расчете на одно эксплуатируемое ВСИТ данного типа:

$$N_{\text{оф}} = (1 - P_3) / P_3, \quad (4)$$

где P_3 – вероятность нахождения ВСИТ на месте эксплуатации в исправном состоянии. Она определяется равенством

$$P_3 = \left[1 + \frac{\tau_{\text{п}}}{12 T_{\text{мпи}}} + \frac{720 k_{\text{и}} \tau_{\text{р}}}{T_0} \right]^{-1}, \quad (5)$$

где $\tau_{\text{п}}$, $\tau_{\text{р}}$ – соответственно время проверки и ремонта ВСИТ с учетом времени на его транспортировку туда и обратно; $k_{\text{и}}$ – коэффициент ис-

пользования ВСИТ, представляющий собой относительное время нахождения ВСИТ во включенном состоянии (применение по назначению) за определенный календарный интервал времени.

Для практических расчетов величины $c_{п1}$ и $c_{р1}$ в (3) целесообразно выразить через стоимость ВСИТ:

$$c_{п1} = k_n C_{\text{СИТ}}; \quad c_{р1} = k_p C_{\text{СИТ}}, \quad (6)$$

где k_n , k_p – коэффициенты, учитывающие долю затрат на поверку и ремонт ВСИТ в зависимости от их стоимости, обычно $k_n < k_p$.

Показатель метрологической надежности ВСИТ определим как [9]

$$P_m = \exp(-8760 T_{\text{мпи}} k_n \chi / T_0), \quad (7)$$

откуда

$$T_{\text{мпи}} = \frac{T_0 \ln P_m}{8760 k_n \chi},$$

где χ – коэффициент метрологических отказов, представляющий собой отношение среднего количества отказов, связанных с выходом метрологических характеристик ВСИТ за установленные нормы, к общему числу отказов ВСИТ за определенный интервал времени (период эксплуатации).

С учетом соотношений (2) – (6) выражение (1) для первой стратегии эксплуатации ВСИТ примет вид

$$C_{\Sigma}^{(1)} = [\alpha C_a + (1 - \alpha) C_a \left[\frac{T_0}{T_{0a}} \right]^n] \left[1 + \frac{8760 k_n T_{\text{сл}} k_n \chi}{(1 - P_m) T_0} + \frac{8760 k_p T_{\text{сл}} k_n}{T_0} + \frac{720 \tau_n k_n \chi}{(1 - P_m) T_0} + \frac{720 \tau_p k_n}{T_0} \right]. \quad (8)$$

Анализ данного выражения показывает, что к числу неуправляемых переменных могут быть отнесены величины α , n , χ , k_n , k_p , зависящие только от типа ВСИТ. Значения P_m , k_n определяются конкретными условиями применения ВСИТ, а значения τ_n и τ_p характеризуют принятую систему организации поверки и ремонта ВСИТ.

Целевую функцию для второй стратегии эксплуатации ВСИТ (без проведения периодической поверки) получим, полагая, что $C_{п1} = 0$, а $C_{\text{оф}}$ уменьшится на $C_{\text{СИТ}}$ ($\tau_n / T_{\text{мпи}}$). В этом случае для суммарных затрат на ВСИТ за срок службы получим:

$$C_{\Sigma}^{(2)} = [\alpha C_a + (1 - \alpha) (T_0 / T_{0a})^n C_a] [1 + 8760 \nu k_p T_{\text{сл}} k_n / T_0 + 720 \tau_p k_n / T_0], \quad (9)$$

где ν – коэффициент, учитывающий уменьшение затрат из-за снижения интенсивности поступления ВСИТ в ремонт в связи с повышением их безотказности. Таким образом, минимизация суммарных затрат C_{Σ} на ВСИТ в течение срока службы $T_{\text{сл}}$ может быть осуществлена за счет выбора стратегии их эксплуатации и соответствующего уровня T_0 , т.е.

$$\min C_{\Sigma}^{(i)}(T_0) \text{ при } P_{Ml}(T_0) \geq P_{M3},$$

где i – индекс, определяющий вид стратегии: $i = 1, 2$; $C_{\Sigma}^{(1)}$, $C_{\Sigma}^{(2)}$ вычисляются по формулам (8), (9) соответственно.

Ввиду того, что общее количество альтернативных стратегий эксплуатации ВСИТ известно, выбор наилучшей из них можно осуществить методом парного сравнения.

В зависимости от вида ВСИТ (известны α , n , χ , κ_n , κ_p) и области применения СИТ (известны P_{M3} , $\kappa_{и}$) для заданной системы эксплуатации (известны τ_n , τ_p) определим затраты $C_{\Sigma}^{(1)}$. При этом значение указанных затрат вычисляется для такого значения T_{01}^* , которое обращало бы затраты C_{Σ} в минимум.

Оптимальное значение T_{01}^* находим из выражения:

$$dC_{\Sigma}^{(1)}/dT_0 = 0; \quad (10)$$

$$P_M(T_0) \geq P_{M3}. \quad (11)$$

Решение (10) относительно переменной T_0 , удовлетворяющее условию (11) может быть получено традиционными методами после подстановки в $C_{\Sigma}^{(1)}$ вместо P_M значение P_{M3} .

Выбор стратегии эксплуатации ВСИТ осуществим по критерию:

$$C_{\Sigma}^{(1)}(T_{01}^*)/C_{\Sigma}^{(2)} < 1.$$

Если данное условие выполняется, то выгоднее заказывать ВСИТ с уровнем безотказности T_{01}^* и применять стратегию эксплуатации с периодической проверкой через интервалы времени, длительность которых определяется по формуле:

$$T_{пп1} = (1 - P_{M3})T_{01}^*/(8760\kappa_{и}\chi). \quad (12)$$

В противоположном случае следует периодическую проверку не проводить, а заказывать ВСИТ со средним временем наработки на отказ:

$$T_{02} = 8760T_{сл}\kappa_{и}\chi/(1 - P_M).$$

Более детальный анализ показывает, что для сложных дорогостоящих электронных приборов ($n = 1 \dots 1, 2$; $\kappa_n = 0, 1$; $\kappa_p = 0, 2$), используемых для настройки, наладки и обслуживания технологического оборудования ($\kappa_{и} = 0, 04 - 0, 1$), целесообразнее применять стратегию с периодической проверкой ВСИТ. В то же время эксплуатируемые с такой же интенсивностью, как и контролируемые объекты, ВСИТ экономически выгоднее не подвергать периодической проверке.

В целом, для однотипных или аналогичных по схемно-конструктивному исполнению и характеру эксплуатации ВСИТ, стратегия без периодической проверки становится предпочтительнее по мере уменьшения стоимости этих ВСИТ, а также снижения требований к уровню их метрологической надежности и увеличению интенсивности использования.

Выводы. В статье показана целесообразность применения для отдельных ВСИТ второй стратегии эксплуатации ВСИТ – без их периодической поверки в течение всего срока службы ВСИТ и предложен экономический критерий для оптимального выбора стратегии эксплуатации.

Перспективы дальнейших исследований в данной области состоят в развитии полученных результатов и конкретизации их для отдельных видов (групп) ВСИТ в практике метрологического обслуживания сложных технических объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усачев А.В. Оперативное планирование поверки средств измерений сложных технических систем // Измерительная техника. – 2001. – № 10. – С. 69 – 71.
2. ДСТУ 2682-94. Державна система забезпечення єдності вимірювань. Метрологічне забезпечення. Основні положення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 16 с.
3. Наказ заступника Міністра оборони України з озброєння – начальника Озброєння № 79 від 01.06.2001 “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки в Збройних Силах України”.
4. Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология: Учебник для вузов. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 492 с.
5. Крецук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 200 с.
6. А.Э. Фридман Метрологическая надежность средств измерений и определение межповерочных интервалов // Метрология. – 1991. – № 9. – С. 52 – 61.
7. Ковылев Ю.И., Богородская Н.А. Определение оптимальной периодичности проверок рабочих средств измерений // Метрология. – 1980. – № 3. – С. 3 – 7.
8. Полетаев В.П. Планирование оптимальных межповерочных интервалов рабочих средств измерений в условиях массового производства // Метрология. – 1977. – № 10. – С. 27 – 33.
9. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники / Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотонов и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с..

Поступила 2.08.2004

ЧИНКОВ Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ХУ ПС. В 1962 году окончил ХПИ. Область научных интересов – цифровая обработка информации и метрологическое обеспечение вооружения и военной техники.

МЕЛЬНИЧЕНКО Александр Евгеньевич, адъюнкт ХУ ПС. В 1998 году окончил ХВУ. Область научных интересов – метрологическое обеспечение вооружения и военной техники.